

УДК 601.54

Н.Г. МАЛЬКЕВИЧ, канд. техн. наук,
Г.В. БЕЛЬСКАЯ, канд. сель.-хоз. наук (БНТУ)

ВЫБРОСЫ ДИОКСИНОВ И ФУРАНОВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Появление диоксинов в окружающей среде связано с производством и использованием хлорорганических соединений и утилизацией их отходов. В металлургии и машиностроении одними из интенсивных источников выделения диоксинов являются электросталеплавильные цехи (дуговые сталеплавильные печи). В сочетании с поливинилхлоридными материалами в процессе нагрева металлолома при 550–600 °С они образуют летучие органические соединения, диоксины и фураны.

Всего выявлено 419 типов относящихся к диоксинам соединений, но лишь 30 из них имеют значительную токсичность. Причем они токсичны при очень низких уровнях, самыми токсичными являются 2, 3, 7, 8 – тетрахлор-дibenзо-*p*-диоксин (ТХДД).

Название «диоксины» часто используется для семейства структурно и химически связанных полихлорированных дibenзо-парадиоксинов (ПХДД) и полихлорированных дibenзофуранов (ПХДФ). Некоторые диоксиноподобные полихлорированные бифенилы (ПХБ) с похожими токсическими свойствами также входят в понятие «диоксины».

Следует отметить, что диоксины являются очень устойчивыми химическими соединениями, они образуются во многих физико-химических процессах, поэтому относятся к категории (или классу) «стойкие органические загрязнители» (СОЗ). СОЗ характеризуются устойчивостью к разложению, а также их способностью концентрироваться (биоаккумуляция) и высокой токсичностью. При этом период их полураспада в организме оценивается в 7–11 лет.

В 1985 г. Управление по охране окружающей среды США (ЕРА) опубликовало свою первую официальную оценку риска заболевания раком, вызванным воздействием диоксинов. Было сделано заключение, что доза 0,006 пикограмм на килограмм веса человека в день

является предельно допустимой дозой для взрослого человека и составляет 320 триллионных частей грамма в день на человека.

Для образования диоксинов необходимо наличие органических соединений, кислорода и определенной температуры. При этом катализаторами, во много раз увеличивающими содержание диоксинов в продуктах горения топлива, являются тяжелые металлы [1].

Следует отметить, что диоксины разлагаются при высоких температурах, однако при прохождении продуктов высокотемпературного горения через газоходы печных установок неудачной конструкции установок они могут образовываться снова.

Как ранее было отмечено, источником образования диоксинов в условиях металлургических и машиностроительных предприятий (при использовании дуговых электропечей) является металлолом, поступающий в качестве сырья для выплавки сплавов черных металлов, который достаточно сильно загрязнен остатками органических веществ (различные покрытия, краска, остатки масел, пластмассы и др.).

Фураны отличаются от диоксинов отсутствием одного атома кислорода в химической структуре соединения. Суммарное воздействие их усиливается. Поэтому вводится понятие «токсичного эквивалента», выражающегося в нг/м^3 газа. Предельно допустимая концентрация «токсичного эквивалента» в воздухе во многих странах установлена равной $0,1 \text{ нг/м}^3$. Например, во Франции провели определение содержания «токсичного эквивалента» в газах, выбрасываемых инсинераторами, аглофабриками, коксовыми печами и дуговыми сталеплавильными печами (на заводах фирмы «Usinor»). В результате несколько инсинераторов было остановлено. Кроме того, выявили, что коксовые печи практически не выбрасывают диоксины, аглофабрики и дуговые печи выбрасывают соответственно $0,5\text{--}3,3$ и $0,0\text{--}1,3 \text{ нг/м}^3$ «токсичного эквивалента» (максимальные значения относятся к дуговым печам, выплавляющим углеродистую сталь и работающим с подогревом лома, особенно к шахтным дуговыми печам). Печи, работающие без подогрева лома, выбрасывают меньше «токсичного эквивалента». Практически не выбрасывают диоксинов / фуранов дуговые печи, выплавляющие легированную сталь.

В целом выбросы диоксинов и фуранов в атмосферу из электродуговых печей определяются следующими факторами:

1. Типом печи.
2. Наличием дополнительных горелок.
3. Системами сжигания технологических газов и подогрева лома.
4. Качеством исходного металлолома.
5. Надлежащей эксплуатацией всего оборудования дуговых печей [2].

Улавливание диоксинов и фуранов представляет большую проблему. Обычные системы газоочистки ДСП улавливают только до 60 % диоксинов, что требует ужесточения норм. Например, во Франции принят закон, обязывающий устанавливать за дуговыми печами газоочистные сооружения, ограничивающие выбросы диоксинов от каждой дуговой печи менее 1 г/год. Вместе с тем, обеспечить такую очистку крайне трудно, поэтому необходимо совершенствовать технологию нагрева и плавления лома и создавать новые высокоэффективные газоочистные сооружения.

Здесь можно выделить следующие основные направления:

- адсорбирование вредных веществ;
- создание рациональных режимов дожигания газов, уходящих из ДСП.

По первому направлению можно отметить скрубберы типа «Airfine» с очисткой от диоксинов до уровня менее 20 мг/м³, а также вдувание адсорбента в технологические газы. Адсорбентом может служить, например, активированный уголь. Вместе с тем, этот способ опасен из-за возможности возгорания пыли в фильтрах при вдувании угля (например, коксовой пыли) более 50 мг/м³. В связи с этим, разрабатываются различные способы охлаждения технологических газов до газоочистки и вдувания коксовой пыли, обеспечивающие снижение содержания диоксинов в выбрасываемых газах до менее 0,1 нг/м³.

Второе направление предусматривает дожигание газов, учитывая, что диоксины / фураны сгорают до CO₂ и H₂O при высокой температуре. При этом очень важно, чтобы в охлаждаемом технологическом газе (уходящих продуктах сгорания из ДСП) не протекал обратный процесс их образования, поэтому нужен постоянный контроль температуры. Это достигается дожиганием газов при температуре примерно 1200 °С и последующей так называемой «закалкой» газов путем орошения водой или примешивания охлаждающего воздуха. Индикатором эффективности сжигания органических

соединений может быть содержание монооксида углерода в отходящем газе, которое должно быть минимальным. Если концентрация монооксида углерода в отходящем газе менее 50 мг/м³, можно утверждать, что летучие органические соединения, диоксины и другие органические реагенты сгорели.

Существующее ужесточение законодательства по выбросам диоксинов может привести к отказу от многих способов подогрева лома в ДСП, как это уже было на некоторых заводах Германии и Австрии [3].

Использование для улавливания диоксинов только системы «чистого» фильтрования (например, с рукавными фильтрами) без использования адсорбентов провоцирует проскальзывание диоксинов в атмосферу с отходящими газами, так как только 20–30 % диоксинов сконцентрированы на частицах золы, а 70–80 % сосредоточены в газовой фазе.

Системный анализ путей миграции диоксинов и УПС в биосфере позволяет предложить различные способы сокращения вредного воздействия диоксинов на людей, включая создание эффективных современных установок обращения с твердыми, жидкими и газообразными отходами с минимизацией образования диоксинов. Например, на машиностроительном заводе в г. Алкмаар (Нидерланды) используется целый комплекс по минимизации образования диоксинов: электростатические фильтры, распылитель (выпаривание загрязненной воды), охлаждение и кислая промывка газов (скруббер), щелочная промывка газов, рециркуляция отходящих газов, нейтрализация, флокуляция, осаждение, теплообменник, реактор с инъекцией активного угля (кокса), пылевые фильтры, регенеративный теплообменник, разогрев газов, реактор каталитического дожигания окислов азота (существует модификация для одновременного дожигания диоксинов) [4].

Предприятие «Фест-Альпине Индустрианлагенбау» (г. Линц, Австрия) разработало новую систему очистки отходящих газов электродуговых печей не только от пыли, но и от диоксинов и других нежелательных веществ. Установка «Эрфайн» мокрого типа для очистки отходящих газов внедрена на аглофабрике компании «Фест-Альпине Шталь Линц». С помощью данной системы одновременное извлечение пыли и других загрязняющих веществ, таких

как HCl, HF, NO_x, SO₂, тяжелые металлы, диоксины и фураны, выполняется в едином процессе.

Технология вдувания активированного лигнита в поток отходящего газа перед пылеотделителем, разработанная компанией «RWE Power AG» совместно с компанией «Ares» успешно эксплуатируется на электросталеплавильном заводе компании «Schifflinge» (Германия), на заводах «Esch-Belval» и «Differdange» (компания «ProfilArbed»). Кроме того, сталелитейные заводы компании «Gerlafingen AG» (Швеция), «ALZ» (Генк, Бельгия) приняли решение об использовании данной технологии для уменьшения выбросов диоксинов. Электросталеплавильный мини-завод фирмы BSW в Германии уделяет большое внимание охране окружающей среды, в частности содержанию диоксинов в выбросах из печи. Фирма ввела новую систему отсоса и переработки отходящих газов, включающую камеру высокотемпературного дожигания газа, в которой происходит частичная диссоциация молекул диоксинов и камеру быстрого охлаждения газа до 150–300 °C. В результате концентрация диоксинов уменьшилась до 0,03 нг/м³.

Более совершенным и компактным является технологический процесс плазменного разложения диоксинов, который разработан в США в компании «Вестингауз Электрик Корпорейшн» и уже используется в промышленности. Аналогичные исследования проводятся и в России. К настоящему времени разработаны и изготовлены макетные технологические комплексы, подготовлены специальные плазменные установки совмещенного типа для разложения диоксинов. Однако положительные результаты по разложению диоксинов в промышленном масштабе с использованием этих методов пока неизвестны [5].

В заключение отметим основные организационные мероприятия, которые должны предшествовать ликвидации основных источников диоксинов и фуранов:

- разработка и утверждение законодательных актов, дающих гарантию того, что вся информация, касающаяся диоксинового загрязнения будет открыта и общедоступна;
- оптимизация и стандартизация стратегии отбора проб, методики анализа и интерпретации данных до проведения исследований;
- разработка на основе современных и доступных технологий рациональных систем очистки, способных свести до минимума уро-

вень диоксинов, выбрасываемых предприятиями в окружающую среду;

- внедрение способов уничтожения и переработки диоксиносодержащих отходов, исключаящие переход диоксинов в окружающую среду;

- составление полного перечня всех технологий и веществ, при производстве, использовании и переработке которых образуются диоксины. Особое внимание следует уделить тем технологиям и продуктам, которые связаны с поступлением в окружающую среду значительного количества диоксинов;

- установление полного контроля за сбросами и выбросами диоксинов и диоксиноподобных веществ, проникающих в окружающую среду;

- проведение мероприятий по мониторингу всех санкционированных полигонов для депонирования ТБО на предмет их самовозгорания, разработка и внедрение программы их поэтапной рекультивации (ликвидации), как основного источника распространения диоксинов и фуранов [6].

Список литературы

1. Выбросы диоксинов и фуранов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://uas.su/books/2011/dsp/142/razdel142.php>.

2. Дунаев, Е.Г. Уменьшение выбросов диоксинов из дуговых сталеплавильных печей / Е.Г. Дунаев // Новости черной металлургии за рубежом. – 2003. – № 3. – С. 51–52.

3. Краснов, О.Н. Снижение образования диоксинов в электросталеплавильных цехах / О.Н. Краснов // Новости черной металлургии за рубежом. – 2005. – № 7. – С. 42–43.

4. Тимофеев, И.Г. Удаление диоксинов и фуранов из технологических газов ДСП / И.Г. Тимофеев // Электрометаллургия. – 2003. – № 8. – С. 29–33.

5. Снижение выбросов диоксинов и фуранов в электросталеплавильных цехах фуранов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2011/feht/tolkachova/library/tez2.htm>.

6. АГРОХХИ [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/biobezopasnost/dioksinofobija-fakty-i-domysly.html>.

УДК 621.511

**П.В. ЯРОШЕВИЧ,
И.А. ТРУСОВА, д-р техн. наук (БНТУ)**

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

По данным аналитиков и специалистов ежегодный рост мощности потребляемой электроэнергии в мире опережает освоение новых месторождений и добычу энергетических ресурсов [1]. В связи с этим все более актуальным является использование вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся в такой энергоемкой отрасли как металлургия.

Следует отметить, что в условиях крупных интегрированных металлургических заводов (предприятий с полным металлургическим циклом) все образующиеся ВЭР (см. таблицу) используются достаточно полно. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что такие предприятия работают в режиме непрерывного цикла и в этом случае создаются наиболее благоприятные условия для утилизации теплоты ВЭР.

Таблица – Распределение ВЭР по основным переделам черной металлургии

Производство	% к общему по отрасли	% к выходу
Коксохимическое	42	90
Доменное	37	85
Мартеновское	15	60
Прокатное	7	40
По отрасли	100	80